

Seis sigma para la solución de problemas de la calidad. Caso de estudio proceso de envasado de café molido

Six sigma for quality problem solving. Case study ground coffee packaging process

^aSandra Milena Castro-Escobar, ^bLeonor Jaimes Cerveleón, ^cZoraima Peñaranda-Ayala, ^dZulmary Nieto-Sánchez

 a. Magíster en Ingeniería Industrial, Sandra.castro@unipamplona.edu.co, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

 b. Magister en Administración de Empresas e Innovación, Leonor.cerveleon@unipamplona.edu.co, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

 c. Magister en Ingeniería Industrial, zorapayala@unipamplona.edu.co, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

 d. Doctora en Educación, zulmarycarolinanisa@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Recibido: Junio 1 de 2021 Aceptado: Octubre 8 de 2021

Forma de citar: S.M. Castro-Escobar, L. Jaimes-Cerveleón, Z. Peñaranda-Ayala, Z. Nieto-Sánchez, “Seis sigma para la solución de problemas de la calidad. Caso de estudio proceso de envasado de café molido”, *MundoFesc*, vol.11, S4, pp. 170-189, 2021

Resumen

En el presente artículo se muestra una ruta novedosa para la implementación de la metodología Seis Sigma, que comienza con un análisis de la situación actual y financiera de la microempresa, seguido de los pasos para determinar el nivel sigma en el que se ubica el proceso y la propuesta de un modelo para la implementación metodológica para microempresas procesadoras de café con el fin de buscar oportunidades para reducir el desperdicio de productos en el proceso de envasado. Como resultado se destaca que el proceso se encuentra sobre los límites y que en cualquier momento el proceso puede salirse de control, por lo tanto, se recomienda a la microempresa estandarizar los procesos para evitar tantos desperdicios, debido al resultado arrojado por el rendimiento del proceso que se encuentra dentro del 64,81%.

Palabras clave: Café, Metodología Seis Sigma, Microempresa, Proceso de Envasado

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: Leonor.cerveleon@unipamplona.edu.co



Abstract

This article shows a novel route for the implementation of the Six Sigma methodology, which begins with an analysis of the current and financial situation of the microenterprise, followed by the steps to determine the sigma level in which the process is located and the proposal of a model for the methodological implementation for coffee processing microenterprises with the purpose of looking for opportunities to reduce the waste of products in the packaging process. As a result it is highlighted that the process is over the limits and that at any moment the process can get out of control, therefore, it is recommended to the microenterprise to standardize the processes to avoid so many wastes, due to the result shown by the yield of the process that is within 64.81%.

Keywords: Coffee, Six Sigma Methodology, Microenterprise, Packaging Process.

Introducción

Para Colombia, la producción de café aporta desarrollo, empleo, crecimiento y bienestar social viéndose reflejado en la gran cantidad de empresas que desarrollan su actividad económica en este sector, donde sobresalen las micro, pequeñas y medianas empresas, generando así una alta tasa de informalidad laboral en el país. Con la globalización, el intercambio económico, entre los distintos sectores productivos y de servicios, han ocasionado que las empresas se direccionen hacia la apertura de nuevos mercados o se enfrenten con la invasión de empresas competidoras en sus respectivos sectores y áreas de influencia.

La situación económica general de las Pymes industriales según la Gran Encuesta realizada por Asociación Nacional de Instituciones Financieras (ANIF), en el primer semestre de 2015, arroja como resultado la situación actual que enfrentan los empresarios; especialmente el sector manufacturo ha sido afectado en la escases de insumos en proporción con el incremento del costo de estos, viéndose afectado los margenes de ganancia negativamente debido a que no era posible el transfereir esos costos al precio final del producto. El problema principal en que se vieron envueltas las Pymes en el desarrollo de sus actividades fue la falta de demanda (20% las pequeñas vs 13% las medianas),

el costo de insumos (17% las pequeñas vs 13% las medianas), los altos impuestos (14% las pequeñas vs 17% las medianas) y la tasa de cambio (10% las pequeñas vs 19% las medianas)”[2-3]. Actualmente la economía de Norte de Santander cuenta con un gran número de micro, pequeñas empresas encargadas de trillar, tostar y moler el café, que ha venido realizando así aportes significativos para la región. En este tipo de empresas se encuentran, algunas con varios años de experiencia y tradición, otras que han venido surgiendo a partir de la necesidad de asociarse pequeños caficultores; es por ello, la importancia que inicien con la estandarización de los procesos buscando la mejora de la calidad de sus productos, y que les permita permanecer y ampliar su mercado.

En entrevista sostenida con algunos representantes de microempresas procesadoras de café tostado y molido en la Subregión Centro (Arboledas, Cucutilla) y Subregión Suroccidente (Pamplonita)[4] de Norte de Santander, se encontró que el interés de estas microempresas es estandarizar la línea de producción del café, donde se pueda identificar mermas de producto en el proceso y calcular el despilfarro o excesos de producto que se ha presentado en el envasado del mismo, debido a que en su gran mayoría, el proceso de envasado se realiza manualmente; este lo realizan mediante espátula y gramera, que le permite dosificar

la cantidad necesaria de producto en la bolsa, pero al pasar al sellado, se presentan derrame del producto, o excesos debido a la fatiga que puede estar presentando el operario, por lo tanto, no verifican si la cantidad que se entrega al cliente en la presentación es la indicada en la etiqueta. Al presentarse este tipo de excesos o derrames de producto, se debe analizar el nivel sigma que tiene la empresa, para conocer cuáles han sido las pérdidas que se presentan en el producto; con el fin de garantizar un peso correcto del contenido neto del producto, verificando que cumpla con lo declarado en la etiqueta y permitir que su producto pueda llegar a nuevos mercados.

Es por ello, que los procesos que adelantan actualmente en las microempresas han venido industrializándose paulatinamente permitiéndoles así, la obtención de productos con mejor calidad, pero independientemente de las técnicas que utilicen, deben de verificar si su proceso está cumpliendo o no con las especificaciones. Dichas microempresas mantienen la calidad de sus productos en cuanto aroma, y textura dependiendo la calidad de grano que compran para procesar, esto se debe a que la mayoría de los cultivos son de asociados a la microempresa, ya que cuenta con propiedades familiares entre una y cinco hectáreas; esto con el fin de garantizar una materia prima idónea para procesar. Inicialmente, en estudio exploratorio [5] realizado en las microempresas visitadas, se pudo observar como visión general, que sus procesos de transformación del café son similares y se centran en la Recepción de Materia Prima, Trillado, Tostado, Molido, Envasado; a su vez, la falta de estructura, organización y documentación adecuada de los procesos, ocasionando así un desconocimiento de información que le permita enfocarse en el mejoramiento de la calidad del producto. Como resultado de esta investigación, se encontrará una propuesta de como podría ser

implementada la metodología permitiendo la mejora de la calidad y productividad para la microempresa, buscando reducir la cantidad de productos defectuosos aumentando así la capacidad de los procesos y reduciendo los costos de no calidad; partiendo de un diagnóstico que permita definir el estado actual del Proceso de Envasado e identificar el rendimiento del mismo, conocer cómo se encuentra la empresa y desarrollar una propuesta para implementar la metodología.

Fundamentos Teóricos

Para los años ochenta la Gestión de la calidad Total (TQM) sobrellevó una época de deterioro pues muchos empresarios tuvieron que llevar a cabo cambios en la forma en como administrar y gerenciar sus empresas. Esto dio lugar a que se incursionara en metodologías como Seis Sigma, teniendo como base tres características fundamentales:

- Orientado al cliente.
- Proyectos que ocasionan importantes retornos de inversión.
- Compromiso y trabajo de la dirección. Seis Sigma no es solo proyectos para la mejora. Las partes interesadas pueden aprender nuevos estilos y formas en las cuales se puede dar solución a problemáticas que se presenten, así como también tomar decisiones más acertadas.

Los inicios de Seis Sigma se dieron aproximadamente en el año 1987 en la empresa Motorola por medio de un grupo de directivos liderado por el presidente de esta empresa [13]. Lo anterior, con el fin de minimizar los defectos encontrados en productos eléctricos. Desde ese momento Seis Sigma ha sido adaptada, incluida, nutrida y estandarizada por un importante número de industrias que requieren de sus

etapas. De la misma manera que Motorola, existen organizaciones comprometidas en la implementación de Seis Sigma dentro de sus procesos, obteniendo experiencias exitosas y ejemplares. Este es el caso de Allied Signal [14], que inició su programa en 1994, es una empresa dedicada a la fabricación de piezas de aviones, la cual multiplicó sus ventas y sus ganancias y General Electric (GE)[15] [16], empresa Estado unidense, que dio sus inicios en el año de 1995 es aspectos relacionados con infraestructuras, servicios financieros, y medios de comunicación, la cual tuvo resultados altamente significativos en todas sus divisiones[17]. Un factor decisivo del éxito presentado por esas empresas ha sido que sus presidentes llevaron a cabo un liderazgo importante en el programa Seis Sigma en sus organizaciones. En America Latina, Mabe es una de las organizaciones que ha logrado consolidar de manera exitosa el programa Seis Sigma, con el propósito de darle seguimiento a los proyectos y mejorar sus resultados, así como lo establece en la Política de Calidad de la Empresa [18].

Historicamente, Seis Sigma da sus inicios en la compañía Motorola gracias al ingeniero Mikel Harry, quien comienza a interesarse en que la organización estudie la variación de los procesos, y descubrir alternativas para mejorarlos. Estas variaciones se encuentran relacionados de que tan dispersos se pueden encontrar los datos alrededor de la media y se puede entender estadísticamente como desviación estándar que es representada por la letra griega sigma (σ). Seis Sigma es un proceso de mejoramiento continuo, centrado en la minimizar la variabilidad, conduciendo a que se reduzcan o eliminen fallas o defectos que se pueden presentar en un producto o servicio que se da al cliente; es decir, calcular la ejecución de un proceso teniendo como base las especificaciones, necesidades y expectativas que tiene el cliente o el mercado, así como el uso de técnicas y herramientas idóneas que permitan alcanzar las metas

de no producir productos defectuosos [1]. La metodología Seis Sigma hace uso de técnicas y herramientas estadísticas que permiten llevar a cabo procesos de caracterización y estudio detallado de los procesos, cuyo objetivo busca la reducción de la variabilidad y la estabilidad del proceso siempre que se encuentre dentro de los límites de especificación [19]. El proceso Seis Sigma (six sigma) se enfoca en 5 etapas que son [20]: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Actualmente, las empresas de manufactura o de servicios no solo deben enfocarse en la elaboración de productos sin defectos o brindar un buen servicio; una empresa debe dominar muchos otros aspectos que lo hagan ser más competitivo. Cualquier empresa debe procurar por mantenerse a la vanguardia con las nuevas tecnologías y debe estar en capacidad de desenvolverse rápidamente con productos o servicios realizables que estén conforme a los requerimientos y expectativas de sus clientes [21].

Seis Sigma

Seis Sigma es una herramienta de mejoramiento continuo del ejercicio, la cual pretende mediante la identificación, eliminar las posibles causas de los errores, defectos y atrasos que se pueden ocasionar durante los procesos, haciendo énfasis en los más críticos para los clientes. La metodología Seis Sigma se apoya en un procedimiento sistemático y de análisis cuantitativo enfocado en el mejoramiento de la calidad del producto o del proceso; teniendo tres aspectos importantes en su campo de acción [22]:

- Satisfacer al cliente
- Reducir los tiempos de ciclo
- Mitigar los defectos

La finalidad de la metodología es obtener procesos con calidad, es decir, procesos que produzcan 3,4 defectos por millón de

oportunidades como tope máximo. Esto se pretende lograr por medio del desarrollo de proyectos de Seis Sigma con programas enfocados en la mejora, diseñados y liderados por la alta dirección de una compañía, que permitan lograr mejoras, eliminar defectos y retrasos de productos y procesos [19]. Las mejoras obtenidas gracias a la implementación de esta metodología representan ahorros significativos en costos, captación de nuevos clientes y mantener los ya existentes, incursión en nuevos mercados y consolidar un posicionamiento como una empresa de excelencia. La metodología Seis Sigma, incluye técnicas estadísticas para el Contro de Procesos, Despliegue de la función calidad (QFD), Ingeniería de calidad de Taguchi, Benchmarking, por mencionar algunas; siendo una opción fuerte a la hora de decidir mejorar los procesos y así conseguir la satisfacción de los clientes [23]. La metodología que se utilizará en esta investigación será Seis Sigma DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Está enfocada en el cliente y en los procesos, buscando que todos los procesos cumplan con los requisitos del cliente (en cantidad o volumen, calidad, tiempo y servicio) y que en todos los ámbitos de desempeño de la empresa tengan una tendencia al nivel de calidad Seis Sigma [24].

Etapas de Seis Sigma

Seis Sigma o metodología DMAIC [25] como también se le conoce, consta de cinco etapas o fases que deben ser ejecutadas en los procesos con la finalidad de disminuir la variabilidad de los mismos, a continuación, se revisara cada una de las fases y la relación que existe entre sí:

Definir: En esta primera fase, se realiza la caracterización del proceso o producto que deberá ser estimado para conseguir resultados de mejor calidad, es decir, se limita el proceso en que se desarrollará

el trabajo. En esta etapa, se analiza: 1) el problema que afecta el proceso, 2) recursos que se tengan, 3) el cliente, 4) se describen los objetivos y finalmente 5) se define el equipo de trabajo; también se permite realizar evaluaciones de los productos, sus características importantes, equipos, talento humano y otras variables que en cada proceso intervienen [26]; para esto lo pueden realizar por medio de lluvia de ideas que permite la participación de las personas que hacen parte del proceso que quiere ser intervenido, una vez identificado se prepara y se debe seleccionar el personal que va a realizar el respectivo análisis, asemejando claramente las causa que ocasionan el problema[27]; en esta fase puede ser utilizada diferentes herramientas estadísticas que permite que se adecue al problema como: diagrama lógico de flujo, diagrama causa y efecto, diagrama de Pareto, histogramas, gráficos de tendencia y otros[28]. A su vez, se recomienda hacer uso de la herramienta Project Charter [29] que consta de un documento que busca equilibrar y alinear las necesidades de las personas que estén interesadas en resolver sus problemas en la empresa.

Medir: En la segunda fase, consiste en localizar el origen de la variación que muestra el proceso, esto quiere decir que se debe caracterizar el proceso identificando los requisitos claves del cliente, permitiendo así verificar, medir y determinar la situación actual del problema, revisando las características de las variables que afectan el funcionamiento del proceso. Comenzando con esta caracterización se precisa el sistema de medida y se calcula la capacidad del proceso [30]; es decir, aquí se establecen las variables que intervienen en el proceso de manera dependiente, se realiza recolección de información que sirve de base para el proceso [31]. Esta información será suministros para comparar con las mediciones que se realicen en el proceso al final de la aplicación del

proyecto con el propósito de establecer si existe mejora significativa dentro del proceso. La información que se obtiene en esta etapa es:

- Diferencia entre el desempeño del proceso que se tiene en comparación al deseado.
- Capacidad del proceso como base para determinar cual será la métrica del proceso.
- Evaluar el sistema de medición del proceso.

En esta etapa es posible utilizar algunas de las siguientes técnicas y herramientas estadísticas: Evaluación de la normalidad de los datos, Evaluación de la receptibilidad y la reproductibilidad Modelación de las características de calidad, Evaluación de la exactitud y linealidad, Análisis de la fiabilidad, Modos alternativos de la evaluación de los sistemas de medición, [32].

Analizar: Para esta fase, se estudia y se valoran los resultados, con la finalidad de poder determinar las causas prioritarias en la variación del proceso, la identificación del problema comparando con los datos y la información que ha sido recolectada y de esa forma establecer estrategias de mejora. Por lo anterior se establece que se comparan resultados actuales e históricos con los datos recolectados, se evalúan y se aprueban o rechazan hipótesis de relaciones causa-efecto empleando instrumentos estadísticos que confirmen las variables de entrada que alteran a las variables de salida del proceso [11]. Para esta fase se recomienda el uso de los siguientes instrumentos: Análisis exploratorio de datos, Ajuste de distribuciones Intervalos de confianza, Contraste de hipótesis, [32].

Mejorar: En esta fase, se eligen las características de rendimiento que se deben

mejorar para el cumplimiento del objetivo; en esta etapa se establecen, se ponen a prueba se ejecutan soluciones de mejora parcial o total en los procesos, permite la disminución de los efectos que está generando el proceso y mejora el rendimiento, la prevención de posibles problemas; se comprobando la relación causa-efecto para pronosticar, optimizar y mejorar el funcionamiento del proceso [6][28].

Controlar: Para esta fase, se propone que se realice un sistema de seguimiento con el fin de que se mantengan las mejoras realizadas al proceso, es decir, se requiere del diseño y documentación de los registros o patrones para validar que lo obtenido mediante el proyecto Seis Sigma se conserve una vez implementado los cambios [33].

Materiales y métodos

Dentro de las actividades planteadas para el desarrollo de este objetivo se da inicio con la revisión del estado actual de la microempresa en el proceso de envasado. Donde se comienza a definir si el trabajo a desarrollar hace parte de un Proyecto Sigma, para eso se definen los siguientes parámetros: se encuentra un problema definido, el cual hace parte de un proceso y puede llegar a ser medible financieramente, el cual puede ser trabajo por los miembros de la organización y un equipo establecido.

Se procede a describir el proceso productivo identificando la serie de actividades que se desarrollan de manera secuencial y ordenada:

- Recepción de la Materia prima, esta es procedente de las fincas de los pequeños caficultores de la región, inicialmente se observa la calidad del café con base al conocimiento del caficultor y se procede al almacenamiento del grano.

- Se revisa las cantidades que se necesitan para procesar.
- Se realiza el pesado, teniendo como base la cantidad de producto a procesar.
- Se realiza el Trillado, hacineod uso de la maquina trilladora que elimina la cascarrilla del grano.
- Al terminar el trillado ubican el grano en recipientes metálicos.
- Se procede a llevar el grano a la Tostador a una temperatura inicial de 180°C hasta 235°C.
- Depositán el gano en recipientes metálicos y comienzan a revolver dejando que se enfrié a temperatura ambiente.
- Se realiza el proceso de molido y el producto se va almacenando en recipientes metálicos.
- Se envasa el producto se bolsas de la presentación deseada 500, 250, 125 gramos, su peso se realiza a través de una gramera digital.
- Luego de manera horizontal, se lleva la bolsa a la selladora de bolsas plástica de impulso.
- Se introduce en cajas, dependiendo de los requerimientos del cliente y se procede a realizar el despacho de estas.
- Se da por terminado el proceso.

Para determinar el nivel sigma, se trabajó en 6 pasos que permitió recolectar y crear información en relación con el comportamiento del proceso, estos pasos me llevaron a identificar el porcentaje de productos defectuoso o que no cumplen con

el peso neto del producto:

En primera instancia se realiza un estudio preliminar que me permite la identificación de la problemática que viene presentando el proceso de envasado en relación al contenido neto del producto que varía con la información que suministra la etiqueta del producto, por tanto, se realiza entrevistas a la representante legal y operarias que manejan el proceso, visitas a la planta, toma de datos y observación del funcionamiento del proceso. Y se estudia detalladamente el proceso de envasado del café molido en su presentación de 125 g, para construir métricas e identificar variables que afectan el proceso. Para realizar la revisión inicial al proceso, se observan y analizan datos relacionados con el comportamiento del proceso de envasado y conocer cual ha sido el rendimiento de este. A través del gráfico de control como herramienta para valorar el proceso, se permitió supervisar el proceso e identificar inestabilidad y circunstancias anormales. Para este se tuvo en cuenta el grafico de control que monitorea la media y rango recolectando muestras de 5 observaciones por lote de producción, dando como resultado un total de 50 observaciones (10 lotes). Las muestras fueron recolectadas de lotes almacenados.

Tabla I. Recolección de Datos

Lots	Samples Collected (grams)				
	1	2	3	4	5
1	132	128	135	130	126
2	125	118	126	121	125
3	136	138	130	134	128
4	125	128	125	130	129
5	128	125	126	132	125
6	136	139	130	134	128
7	129	124	125	120	122
8	128	131	140	129	135
9	128	125	126	132	125
10	122	126	126	121	120

Tabla II. Datos Procesados

Number of Samples	Observations					X bar (half)	Rank	UCL	CL	LCL	UCL	CL	LCL
	1	2	3	4	5								
1	132	128	135	130	126	130,1	9,5	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
2	125	118	126	121	125	123,0	8,0	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
3	136	138	130	134	128	133,2	10,0	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
4	125	128	125	130	129	127,3	5,5	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
5	128	125	126	132	125	127,2	7,5	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
6	136	139	130	134	128	133,3	10,5	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
7	129	124	125	120	122	123,9	9,1	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
8	128	131	140	129	135	132,6	12,0	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
9	128	125	126	132	125	127,2	7,5	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
10	122	126	126	121	120	123,0	6,0	133,0	128,1	123,1	18,1	8,6	0,0
						128,1	8,56						

Tabla III. Factores para construir gráfico de control para variables [46]

Observations on the sample n=5	Factors to build control chart for variables
D4	2,115
D3	0
A2	0,577

Límites de Control de el Gráfico de Rango (R)

$$LCS_R = D_4 \bar{R}$$

$$LC_R = \bar{R}$$

$$LCI_R = D_3 \bar{R}$$

Tabla IV. Resultados de los Limites de Control del Gráfico de Rango

R chart	
LCL	0,0
R-bar	8,6
UCL	18,1

En la gráfica de control de rangos, indica que la variabilidad del proceso está bajo control, pero se visualiza que hay muchos datos dispersos, bien sean por debajo o por encima de la media; por lo tanto, puede construirse la carta (x).

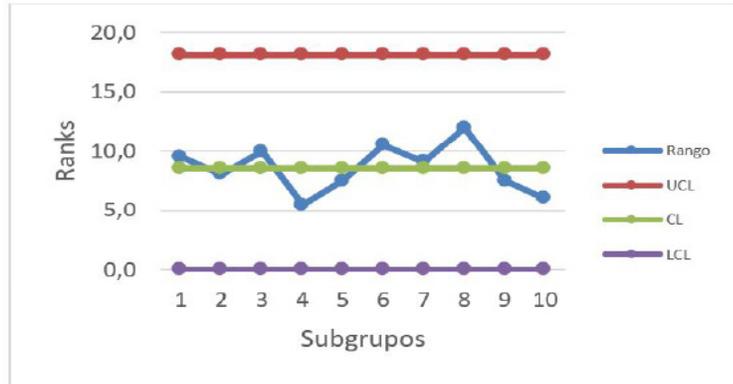


Figura 1. Gráficos de Control de Rangos para el Proceso de Envasado

Límites de Control del Gráfico de Medias (x)

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Tabla V. Límites de Control del Gráfico de Medias

x-bar Chart	
LCL	123,1
X bar	128,1
UCL	133,0

En el gráfico de control que supervisa la media, se observa que el proceso se mantiene bajo control estadístico, pero en cualquier momento del tiempo puede salir de control, porque se encuentran puntos sobre límites. Las variables críticas pueden presentarse entre los puntos 2, 3, 6, 7,10 que tienen una mayor probabilidad de generar un descontrol del proceso que se verá reflejado directamente en la no satisfacción del cliente al no cumplir con las expectativas del mismo. En el proceso de envasado del café molido, es posible identificar como variable crítica el contenido neto del producto.

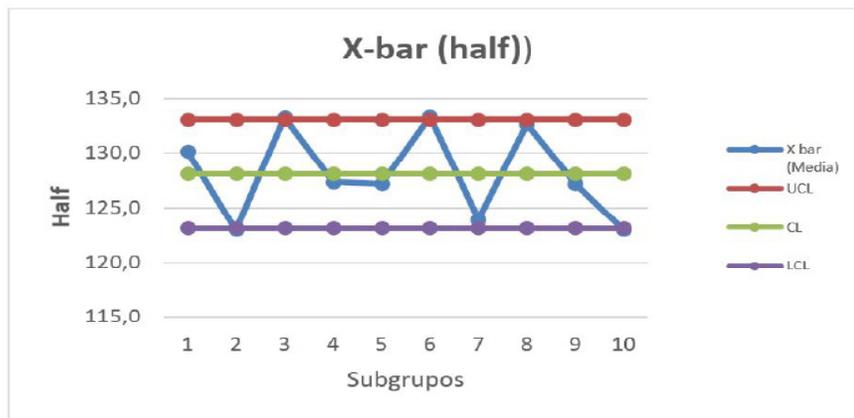


Figura 2. Gráfico de Control de Medias para el Proceso de Envasado

Resultados y discusión

A continuación, se describen los resultados más relevantes de la investigación:

Determinación del Nivel Sigma: Recolección de Datos.

Para este primer paso, se realizaron mediciones a través de datos recolectados en el proceso para validar el sistema y establecer si era suficiente la información para analizarlo. Se realizó un estudio detallado del proceso, registrando así las variables que se consideraban de interés para el desarrollo del proyecto. Entre la toma de datos predomina la dosificación del contenido neto, en mínima y máxima cantidad posible. La recolección de datos fue apoyada por las operarias y realizada por medio de observación directa del proceso. Se tomaron 150 muestras semanales, de las cuales 30 en cada lote diario (se realizó la recolección durante el periodo de 4 sábados), como resultado se obtuvo 600 muestras de unidades producidas. Se utilizó un formato en donde se anotaba la información de las unidades inspeccionadas en cada muestra, a continuación, se muestra la información detallada (Tabla IV):

Tabla VI. Toma de Muestras

DIA 1	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	LOTE 5
1	118,70	127,50	125,20	119,30	121,80
2	126,90	127,30	126,30	130,00	121,80
3	126,70	120,70	125,20	120,60	128,20
4	121,00	127,90	129,40	123,00	128,10
5	128,90	128,10	119,00	123,10	120,10
6	128,10	128,20	126,10	123,20	127,90
7	123,00	119,01	126,20	122,90	128,10
8	123,00	131,80	120,80	122,80	121,00
9	123,10	131,70	124,80	129,50	124,90
10	120,60	132,50	124,30	129,40	123,90
11	132,50	129,80	124,30	121,60	124,80
12	132,60	120,00	125,30	123,90	124,30
13	132,30	123,90	125,70	124,80	124,30
14	120,40	125,00	125,80	124,30	124,20
15	124,40	123,90	120,80	125,80	124,20
16	124,90	123,82	123,50	126,10	124,10
17	123,90	126,00	129,80	126,20	127,00
18	129,90	125,10	124,90	121,80	127,10
19	121,30	126,30	124,50	127,00	118,90
20	128,10	125,20	124,40	127,10	123,90
21	128,20	125,30	124,90	122,60	123,82
22	121,60	122,30	125,80	123,70	124,00
23	127,20	131,90	126,10	122,80	126,80
24	127,00	131,80	121,30	122,60	127,00
25	126,30	131,70	129,40	128,90	127,10
26	125,20	132,50	125,20	128,80	127,50
27	125,30	132,60	125,20	120,90	127,30
28	125,20	120,70	125,30	129,30	127,50
29	130,10	128,50	125,70	130,20	130,00
30	121,00	127,90	130,10	129,50	121,50

Calculo de Centramiento y Dispersión.

Recopilada la información permite conocer el estado en que se encuentra el proceso y revisar si se esta cumpliendo con las especificaciones del proyecto de acuerdo con los resultados anteriores. El medir involucra varios cálculos; que a través del Software IBM SPSS Statistics versión 21[47] y Microsoft Excel [28] permitió procesar los datos. Teniendo en cuenta los datos recolectados, se procede a realizar el análisis del proceso, haciendo uso inicialmente de las Distribuciones de Frecuencias [48] y luego se identifica el nivel sigma de la empresa para determinar la cantidad de producto defectuoso. El primer paso a seguir es determinar el valor máximo y mínimo que toma la variable, en este caso el contenido de la presentación de 125 gr de café molido; para calcular el Rango o Recorrido:

$$R = D_{\text{mayor}} - D_{\text{menor}}$$

$$R = 132,6 - 118,6$$

$$R = 14$$

Para determinar el número de intervalos utilizamos un método, que consiste en la aplicación de la fórmula Struges, obteniendo:

$$m = 1 + 3,3 \log n$$

$$m = 1 + 3,3 \log 600$$

$$m \sim 11$$

En cuanto a la amplitud, que debe tomar cada intervalo de la distribución, tenemos:

$$C = \frac{R}{m}$$

$$C = \frac{14}{11}, \quad C = 1,27, \quad C \approx 1,3$$

Con la información anterior se procede a la agrupación de los datos por medio la tabla VII de distribución de frecuencias [48].

Tabla VII. Distribución de Frecuencias

	Frequency	Percentage	Valid percentage	Accumulated percentage
Valid 118,61 - 119,90	22	3,7	3,7	3,7
119,91 - 121,20	34	5,7	5,7	9,3
121,21 - 122,50	45	7,5	7,5	16,8
122,51 - 123,80	54	9,0	9,0	25,8
123,81 - 125,10	75	12,5	12,5	38,3
125,11 - 126,40	138	23,0	23,0	61,3
126,41 - 127,70	67	11,2	11,2	72,5
127,71 - 129,00	48	8,0	8,0	80,5
129,01 - 130,30	63	10,5	10,5	91,0
130,31 - 131,60	31	5,2	5,2	96,2
131,61 - 132,90	23	3,8	3,8	100,0
Total	600	100,0	100,0	

En la tabla VII se puede observar que el mayor número de muestras se encuentra concentrado en el intervalo 125,11 – 126,4. Al obtener dicha información, se procede a calcular el centramiento y dispersión de los datos (Tabla VIII)

Tabla VIII. El centramiento y dispersión de los datos

	Class Mark	Frequency (f)	Percentage	Accumulated percentage	d	df	d ² f	
1	118,61 - 119,90	119	22	3,7	3,7	-5	-110	550
2	119,91 - 121,20	121	34	5,7	9,3	-4	-136	544
3	121,21 - 122,50	122	45	7,5	16,8	-3	-135	405
4	122,51 - 123,80	123	54	9,0	25,8	-2	-108	216
5	123,81 - 125,10	124	75	12,5	38,3	-1	-75	75
6	125,11 - 126,40	126	138	23,0	61,3	0	0	0
7	126,41 - 127,70	127	67	11,2	72,5	1	67	67
8	127,71 - 129,00	128	48	8,0	80,5	2	96	192
9	129,01 - 130,30	130	63	10,5	91,0	3	189	567
10	130,31 - 131,60	131	31	5,2	96,2	4	124	496
11	131,61 - 132,90	132	23	3,8	###	5	115	575
	Total		600				27	3687

1	2	3
$\bar{X} = X_o + Cd$ $d = \frac{1}{n} \sum d_i f_i$ $d = \frac{1}{600} (27)$ $d = 0,045$	$\bar{X} = X_o + Cd$ $\bar{X} = 125,75 + (1,3)(0,045)$ $\bar{X} = 125,75 + 0,059$ $\bar{X} = 125,809$	$\sigma_d^2 = \frac{1}{n} \sum (d_i^2 f_i - d^2)$ $\sigma_d^2 = \frac{1}{600} [3687 - (0,045)^2]$
$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{600} [3687 - 0,0020]}$ $\sigma_d = \sqrt{6,145}$ $\sigma_d = 2,47789$ $\sigma_s = 2,479$ $\sigma_s = C \sigma_d$ $\sigma_s = (1,3)(2,479)$ $\sigma_s = 3,223$	4	$6 \sigma_s \geq S - I$ $6 \sigma_s \geq 128,1 - 121,9$ $6(3,223) \geq 128,1 - 121,9$ $19,338 \geq 6,2$
Si $6 \sigma_s \leq S - I$ EL PROCESO SE ENCUENTRA BAJO CONTROL ESTADÍSTICO.		
5		

Comportamiento del Proceso

Se observa en el histograma con curva normal que la media es igual a 7,05; esto quiere decir que los datos están más concentrados a la derecha de la curva normal, con respecto a la desviación estándar es de 2,481 ya que se encuentra en un término medio (figura 3).

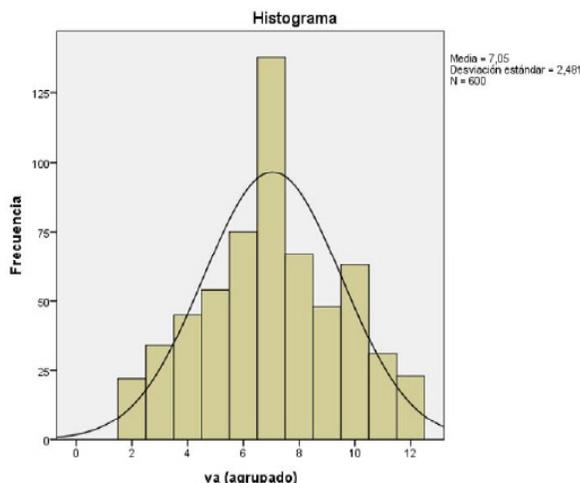


Figura 3. Histograma

Cumplimento de las especificaciones

En este paso, se evalúa que tan capaz es el proceso de cumplir con las especificaciones y establecer la productividad de las operaciones y lo competitivo que puede llegar hacer en el mercado. Las especificaciones del producto deben ser $125 \pm 3,1$ gr; en donde:

$$6 \sigma_{\bar{x}} \geq S - I$$

$$6 \sigma_{\bar{x}} \geq 128,1 - 121,9$$

$$6(3,223) \geq 128,1 - 121,9$$

$$19,338 \geq 6,2 \quad -$$

Lo anterior, me permite evidenciar que el proceso de envasado es incapaz de cumplir con las especificaciones, debido a que no se encuentra bajo control, por lo tanto, se están produciendo productos defectuosos, se está entregando al mercado productos que no cumplen con el

contenido neto declarado en la etiqueta. Este comportamiento anormal señala la presencia de causas especiales de variaciones, tales como descuido del operario, un instrumento de medición descalibrado o una lectura errónea del mismo.

Calculo de Porcentaje de Defectuosos

Con base a la curva de la normal, se realiza la gráfica en función de los datos anteriores, mostrando el porcentaje de productos defectuosos y analizando la productividad del proceso.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z_{(X=128,1)} = \frac{128,1 - 125,809}{3,223}$$

$$Z_{(X=128,1)} = 0,71$$

El valor obtenido de $Z_{(X=128,1)}$ lo revisamos en la Tabla Áreas bajo la curva normal de probabilidad [48]

$$P [X > I] = 0,5 - 0,2612$$

$$P [X > I] = 0,2388$$

$$Z_{(X=121,9)} = \frac{121,9 - 125,809}{3,223}$$

$$Z_{(X=121,9)} = -1,21$$

El valor obtenido de $Z_{(X=121,9)}$ lo revisamos en la Tabla Áreas bajo la curva normal de probabilidad [48]

$$P [X < I] = 0,5 - 0,3869$$

$$P [X < I] = 0,1131$$

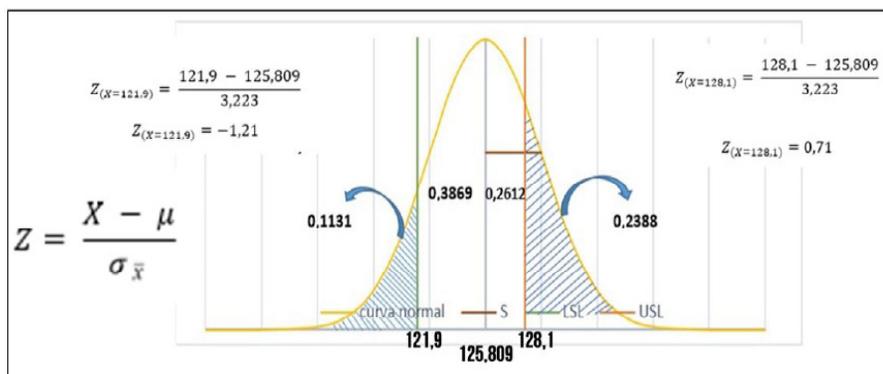


Figura 4. Calculo del Procentaje Defectuoso

$$\text{Producto Defectuoso} = 0,1131 + 0,2388$$

$$\text{Producto Defectuoso} = 0,3519 \sim 35,19\%$$

$$\text{Producto Bueno} = 100\% - 35,19\%$$

$$\text{Rendimiento} = 64,81\%$$

Identificación Nivel Sigma

La microempresa, presenta un 64,81% de bolsas de café en presentación de 125 g, se encuentra dentro de las especificaciones, por lo tanto, es conforme; con esta información se procede a identificar el nivel sigma en que se encuentra la microempresa, con base a la tabla IX:

Tabla IX. Medida del Nivel Seis Sigma[18]

Rendimiento	Nivel del Sigma	DPMO
6.680	0.00	933200
8.455	0.13	915450
10.56	0.25	894400
13.03	0.38	869700
15.87	0.50	841345
19.08	0.63	809200
22.66	0.75	773400
26.59	0.88	734050
30.85	1.00	691462
34.50	1.10	655422
38.20	1.20	617911
42.10	1.30	579260
46.00	1.40	539828
50.00	1.50	500000
69.10	2.00	308538
84.10	2.50	158655
93.30	3.00	66807
94.79	3.13	52100
95.99	3.25	40100
99.40	4.00	6210
99.98	5.00	233
99.99966	6.00	3.4

Se calcula el Nivel Sigma para la microempresa, en relación con el Proceso de Envasado en función del rendimiento obtenido, así (Tabla X):

Tabla X. Calculo del Nivel Sigma

Nivel Sigma	DPMO	Performance
1,5	500.000	50%
1,88	253.075	64,81%
2	308.537	69,1%

Si sigma = 1.88, significa que nuestro producto entra dentro de las especificaciones en el 64,81% de los casos.

Evaluación del Sistema de Medición

Se observa que el cuadrado medio de los tratamientos 18,393 es varias veces mayor que el cuadrado medio 10,447, esto indica que no es posible que las medias de las medias sean iguales (tabla XI).

Tabla XI. Analisis de la varianza de los datos

ANOVA					
GRAMOS					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	349,460	19	18,393	1,761	,024
Dentro de grupos	6048,651	579	10,447		
Total	6398,110	598			

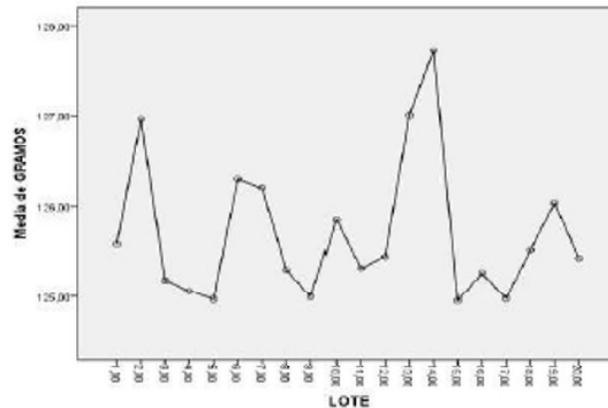


Figura 5. Distribución de la Significancia

Tabla XII. Interpolación de los Grados de Libertad

GRADOS DE LIBERTAD			
		X1	X2
		15	19
Y1	500	1,69	1,59
	598		1,61
Y2	1000	1,68	1,58

En este experimento se tomó una α igual a 0,05. Ahora bien, si el F de la investigación presentada es menor igual al F de la tabla, se dice estadísticamente que la investigación no presenta diferencias significativas con respecto a las medias de los tratamientos y en este caso el F de la investigación es de 1,761 lo cual es mayor al F de la tabla o del entorno, con $F_{19,598}=1,61$; esto quiere decir que se presentan diferencias significativas entre las medias y por consiguiente se rechaza la Hipótesis Nula (H_0).

Modelo para la Implementación de la Metodología Seis Sigma: Se plantea que el Modelo para la Implementación se trabaje a través de dos Fases

Fase I. Evaluación Inicial. Actualmente la microempresa al no tener estructurado, organizado y documento sus procesos, se hace necesario revisar la situación actual de la empresa y/o proceso, a través, de un Diagnostico que me proporcione un panorama general, utilizando herramientas estadísticas y esta manera identificar los posibles escenarios al implementar cada uno de las fases de la Metodología DMAIC. Para la realización del Diagnostico se propone realizar la descripción del Proceso y/o situación: Se detalle en qué condiciones se encuentra el proceso, para esto, recomienda elaborar un análisis más

específico por medio de una Matriz DOFA. El presente trabajo sirve como base para la incubación de proyectos de mejora, así, aplicando la metodología DMAIC, priorizando las fallas que se estén presentando en la empresa y para la selección adecuada del proyecto. En esta fase, se calcula la habilidad del proceso en función de las sigmas del proceso y se determina la capacidad del proceso. En la Fase Inicial, se debe considerar aspectos, como:

- Definir el equipo de trabajo: personal comprometido en mejorar los procesos de la microempresa
- Capacitar el personal seleccionado; formación enfocada en aspectos claves de la metodología.
- Establecer los objetivos que se desean obtener, definir el alcance del proyecto
- Recolección y análisis de datos

Fase II. Etapas de la Metodología. Una vez analizada la situación actual, se procede a plantear la metodología que integre las etapas del ciclo DMAIC, en las que se definen herramientas, que deben aplicarse para abordar las diferentes problemáticas y definir qué método se llevaran a cabo para su implementación en la microempresa, es la siguiente

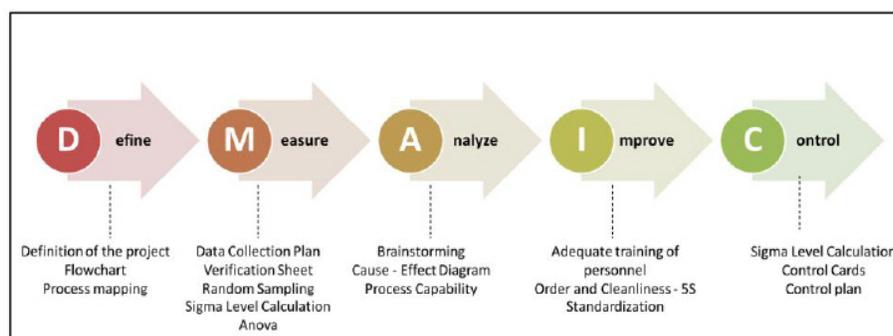


Figura 5. Ruta para la Implementación de la Metodología

Definir: En esta etapa, se busca que la microempresa identifique el proyecto que impacte positivamente las finanzas, en el caso de estudio se encontró el desperdicio en el envasado del producto, esto genera la necesidad urgente por reducir desperdicios y comparar entre lo que es y lo que debería ser el proceso; se tomó este proceso que, aunque se desarrolla de manera artesanal presenta oportunidades de aprovechar más el material con el fin de poder envasar más unidades.

Medir: En esta etapa, se definen las métricas para verificación del desempeño del proceso, esto se logra con la medición del desempeño actual, seguida de los datos del proceso obtenidos y la evaluación del sistema de medición para la cuantificación de los errores asociados.

Analizar: En esta etapa, se requiere estructurar, analizar la capacidad del proceso estableciendo hipótesis iniciales; a su vez, establecer las variables significativas que me permitirá confirmar o desechar las hipótesis planteadas, determinando que se espera y que se puede mejorar.

Mejorar: En esta etapa, las mejoras son implementadas y verificadas, por tanto, se busca alternativas de mejoras para aspectos urgentes detectados en las etapas anteriores, establecen nuevas condiciones en el proceso y propuestas de solución, estimados por el equipo de trabajo, y se investigan y resuelven los modos de falla para el nuevo proceso

Controlar: En esta etapa, el impacto previsto de las mejoras y rendimiento financiero, deben ser verificados continuación; por lo tanto, es importante convencer a la dirección que la aplicación de Seis Sigma da resultados favorables y puede ser utilizada como estrategia corporativa

Conclusiones

Como conclusiones se pueden mencionar que los resultados arrojaron que las microempresas no cuentan con documentación relacionada con los históricos del proceso enfocado a café molido. Dichas microempresas tampoco contaban con las características principales de un diseño de planta. Por otro lado, el proceso de café molido se realiza de manera artesanal el cual presenta pérdidas de dinero, pérdidas de producto y así mismo procesos poco eficientes.

El resultado del análisis mostró que el proceso se encuentra sobre los límites y que en cualquier momento el proceso puede salirse de control, esto permite evidenciar que es necesario la inclusión, el desarrollo la aplicación de herramientas que permitan mejorar los procesos y específicamente el proceso de café molido. Así mismo, se calculó el nivel sigma donde arrojó un 1,88% equivalente a 253.075 DPMO. Por otro lado, los resultados arrojaron que el proceso que el proceso necesita mejora, debido a los cálculos mostrados y permitió evidenciar que la aplicación de 6-sigma es necesario.

Con los análisis y simulaciones realizadas se puede mencionar que el modelo crado y la implementación desarrollada permitieron que cualquier microempresa pueda comenzar a estandarizar y optimizar procesos aplicando diferentes herramientas. No solo se puede aplicar esta implementación al producto estudiado sino también a los productos derivados de esta microempresa. Por lo tanto, el proceso de maquina permite desarrollar mayores ingresos los cuales permitirán a las microempresas aumentar su productividad.

Otro punto importante a mencionar, y teniendo en cuenta que las microempresas del sector de Norte de Santander cuentan con procesos muy similares, esta investigación permitirá replicar y realizar una comparación con respecto al porcentaje de desperdicios que se encuentran en sus procesos. Finalmente, es importante describir que con la aplicación de 6.sigma en el caso de estudio envasado de café molino, se redujo la pérdida de café, se optimizaron los cálculos de envasado y se estandarizó el proceso, razón por la cual se logró brindar una herramienta de optimización a las microempresas relacionadas con el proceso de envasado de café.

Referencias

- [1] R. J. Herrera and T. J. Fontalvo, "Seis Sigma Métodos Estadísticos y Sus Aplicaciones", México: Limusa, 2011
- [2] L. Jaimes, M. Luzardo y M. D. Rojas, "Factores determinantes de la productividad laboral en pequeñas y medianas empresas de confecciones del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia", *Información tecnológica*, vol. 29, no. 5, 175-186, 2018
- [3] Cámara de Comercio de Bogotá, Asociación Nacional de Instituciones Financieras

- (ANIF), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, Cámara de Comercio de Cali, Banco de la República y Bancoldex, “La Gran Encuesta Pyme - Informe de Resultados 1er. semestre 2015”, Bogotá: Asociación Nacional de Instituciones Financieras - (ANIF), 2015
- [4] Gobernación Departamento Norte de Santander, “Mapa Subregiones de Norte de Santander.pdf.” [En línea]. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20120227115104/http://www.nortedesantander.gov.co/msubregiones.php>
- [5] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la Investigación*, México: Mc Graw Hill, 1997
- [6] T. J. Michcol, D. Gallardo García, J. A. Varela Loyola, E. Flores Ávila, “Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz,” *Conciencia Tecnológica*, vol. 12, no. 42, pp. 11–18, 2011
- [7] A. Moreano y P. Cáceres, “Diseño para la implementación de la metodología seis sigma en una línea de producción de queso fresco”, *Instituto Politécnico Nacional*, México, vol. 1, pp. 1-8, 2010
- [8] J. F. Montañez Muñoz y C. A. Gómez Peñuela, “Implementación de metodología six sigma en la mejora de procesos y seguridad en las instalaciones de Schneider Electric de Colombia SA”, Universidad de La Salle, Bogotá, 2006
- [9] E. Pérez-López y M. García-Cerdas, “Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal”, *Revista tecnología en Marcha*, vol. 27, no. 3, pp. 80-88, 2014
- [10] N. Caicedo Solano, “Aplicación de un programa seis sigma para la mejora de calidad en una empresa de confecciones”, *Prospectiva*, vol. 9, no. 2, pp. 65-74, 2011
- [11] D. M. Arango Martínez, y B. E. Ángel Álvarez, “Plan de implementación de six sigma en el proceso de admisiones de una institución de educación superior”, *Prospectiva*, vol. 10, no. 2, pp. 13-21, 2012
- [12] M. Buestán, “Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado”, *In Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, vol. 1, pp. 14-16, 2013
- [13] B. El-Haik, y D. M. Roy, *Service design for six sigma: a roadmap for excellence*, New York: John Wiley & Sons, 2006
- [14] R. Jugulum y P. Samuel, *Design for lean six sigma: A holistic approach to design and innovation*, New York: John Wiley & Sons, 2010
- [15] B. El-Haik, y R. Al-Aomar, *Simulation-based lean six-sigma and design for six-sigma*, New York: John Wiley & Sons, 2006
- [16] G. Yadav, y T. N. Desai, “Lean Six Sigma: a categorized review of the literatura”, *International Journal of Lean Six Sigma*, pp. 1-24, 2016
- [17] I. Gremyr y J. B. Fouquet, “Design for Six Sigma and lean product development”, *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 3, no. 1, pp. 45-58, 2012
- [18] K. E. Miranda Espinoza, “Diseño de mejoramiento en los procedimientos de la línea de tubos de horno aplicando el Círculo Deming en la Empresa Mabe

- SA”, (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.), pp. 15-28, 2015
- [19] J. M. Juran, y J. A. De Feo, *Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence*, New York: McGraw-Hill Education, 2010
- [20] J. Evans and W. Lindsay, *Administración y control de la calidad*, 7a. Edición, Cengage Learning Editores S.A, México, 2014
- [21] R. A. Diaz Minchan, “Implementación de la metodología Six Sigma para la solución de reclamos de calidad en un laboratorio farmacéutico”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 2018
- [22] J. N. Lowenthal, *Guía para la aplicación de un proyecto Seis Sigma*, España: American Society for Quality, 2003
- [23] C. Werkema, *Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas: PDCA e DMAIC*, Rio de Janeiro: Elsevier, 2016
- [24] A. B. Hernández, M. De la Paz Guillon, y L. A. García, “La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad”, *Revista de La Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, vol. 23, no. 37, 2015
- [25] T. J. F. Herrera, “Aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento”, *Escenarios*, vol. 9, no. 1, pp. 7-17, 2011
- [26] G. Eckes, *Six Sigma for everyone*, New York: John Wiley & Sons, 2003
- [27] L. A. M. Salinas, F. J. E. Orantes, & F. H. Pérez, “Análisis y mejora de un proceso mediante la aplicación de un enfoque Lean Six Sigma”, *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 57, 2016
- [28] M. Pérez, *Metodologías Seis Sigma a través de EXCEL*, Madrid: RC libros, 2010
- [29] A. Bohigues Ortiz, “Desarrollo e implementación de un Modelo Seis Sigma para la mejora de la Calidad y de la productividad en Pymes industriales”, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España, 2015
- [30] O. C. Gracia, F. J. E. Orantes, y F. H. Pérez, “Aplicación de la metodología Lean-Sigma en la solución de problemas en procesos de manufactura: Caso de Estudio”, *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 57, no. 12, 2016
- [31] J. Supo, *Cómo probar una hipótesis. El ritual de la significancia estadística*, Arequipa: Bioestadístico EIRL, 2014
- [32] M. Á. T. Morán, *Control Estadístico de la Calidad*, pp. 80-120, 2007
- [33] H. Felizzola Jiménez y C. Luna Amaya, “Lean Six Sigma in small and medium enterprises: a methodological approach”, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 22, no. 2, pp. 263-277, 2014
- [34] C. L. M. Franco, O. M. Arango y J. R. C. Armenta, “Desarrollo de una metodología Lean-Six Sigma para una pyme mexicana. Caso: Empresa Textil, Tulancingo, Hgo”, *Repositorio de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, vol. 11, pp. 1498-1518, 2017
- [35] Y. A. Báez, J. Limón, D. A. Tlapa, y M. A. Rodríguez, “Aplicación de Seis Sigma

- y los Métodos Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz”. *Información tecnológica*, vol. 21, no. 1, 63-76, 2010
- [36] A. Tenera y L. C. Pinto, “A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 912-920, 2014
- [37] S. Indrawati, y M. Ridwansyah, “Manufacturing continuous improvement using lean six sigma: An iron ores industry case application”, *Procedia Manufacturing*, vol. 4, pp. 528-534, 2015
- [38] S. M. Gnanaraj, S. R. Devadasan, R. Muruges, y C. G. Sreenivasa, “Sensitisation of SMEs towards the implementation of Lean Six Sigma—an initialisation in a cylinder frames manufacturing Indian SME”, *Production Planning & Control*, vol. 23, no. 8, pp. 599-608, 2012
- [39] S. P. García, “Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en la mejora continua de procesos: Un estudio de caso”, vol. 1, pp. 1-19, 2014
- [40] A. Thomas, R. Barton, y C. Chuke Okafor, “Applying lean six sigma in a small engineering Company a model for change”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 20, no.1, pp. 113-129, 2009
- [41] S. S. Chakravorty, “Six Sigma programs: An implementation model”. *International Journal of production economics*, vol. 119, no. 1, pp. 1-16, 2009
- [42] M. Kumar, J. Antony, y M. K. Tiwari, “Six Sigma implementation framework for SMEs—a roadmap to manage and sustain the change”, *International Journal of Production Research*, vol. 49, no. 18, pp. 5449-5467, 2011
- [43] U. D. Kumar, D. Nowicki, J. E. Ramírez-Márquez, y D. Verma, “On the optimal selection of process alternatives in a Six Sigma implementation”, *International journal of production economics*, vol. 111, no. 2, pp. 456-467, 2008
- [44] L. A. Dzul-López, É. A. Barbosa-Saucedo, y S. Gracia-Villar, “¿Cómo mejorar la competitividad de las empresas Tamaulipecat?: seis sigma, una alternativa para las pequeñas y medianas empresas”, *CienciaUAT*, vol. 5, no. 3, pp. 56-60, 2011
- [45] E. A. B. Saucedo, S. G. Villar y L. A. D. López, "Propuesta de metodología Lean Seis Sigma en empresas PyMEs: un enfoque participativo con la academia", *I+ D Tecnológico*, vol. 9, no. 1, pp. 10-20, 2013
- [46] D. C. Montgomery, y D. V. Verbeeck, *Control estadístico de la calidad (No. 658.562 M66 2004.)*, Limusa: Wiley, 2004
- [47] L. G. Gutiérrez, "Trabajo en equipo y control estadístico de procesos en Seis Sigma como fuentes de visión compartida: Un análisis empírico de su efectividad en empresas europeas", *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 18, no. 2, pp. 143-160. 2009
- [48] C. M. Bencardino, *Estadística y muestreo*, Colombia: Ecoe ediciones, 2012